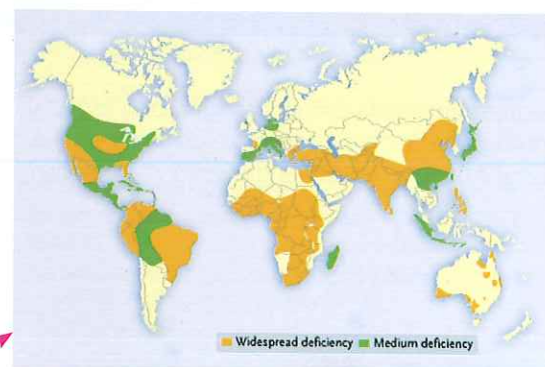


## EL CASO DEL ZINC

# BIOFORTIFICACIÓN DE CEREALES CON MICRONUTRIENTES

**PATRICIA ALMENDROS, ANA OBRADOR, JOSÉ MANUEL ALVAREZ, DEMETRIO GONZÁLEZ** Departamento de Química y Análisis Agrícola, Universidad Politécnica de Madrid  
**RUI MACHADO** Departamento de Fitotecnia, Instituto de Ciências Agrárias Mediterrâneas e Ambientais (ICAAM), Universidade de Évora, Portugal

La malnutrición en humanos por falta de micronutrientes afecta a más de 3.000 millones de personas en todo el mundo. Las deficiencias más frecuentes son de zinc (Zn), hierro (Fe), vitamina A y yodo (I) y son particularmente evidentes en las mujeres y los niños de países en desarrollo. Las carencias de Zn y Fe afectan a alrededor de un tercio de la población del mundo y se están extendiendo a los países desarrollados, especialmente en Europa. La biofortificación agronómica, incrementando la concentración de micronutriente Zn en la planta, es un medio para evitar la deficiencia de Zn en animales y humanos y consiste en aumentar el contenido de micronutrientes en las plantas mediante la fertilización de los cultivos.



**Figura 1.** Zonas de deficiencia de Zn en suelos (naranja, alta deficiencia; verde, deficiencia media)

Se cree que los niveles crecientes de deficiencias de micronutrientes son debidos a diferentes factores relacionados con los cambios en la producción agrícola hacia los cereales de alto rendimiento a expensas de los cultivos más tradicionales, como las legumbres, que se consideran generalmente como una fuente mucho más rica de micronutrientes que los cereales. El procesamiento industrial de los cereales también puede influir en los niveles de micronutrientes en la semilla, ya que elimina nutrientes esenciales antes de su consumo.

## EL PROBLEMA DE LA DEFICIENCIA DE ZINC EN LOS CULTIVOS. ESTRATEGIAS AGRONOMICAS PARA SU MITIGACIÓN

Un estudio realizado por la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO) mostró que la de Zn es la deficiencia de micronutrientes más común y afecta a una amplia gama de tipos de suelo en muchas zonas agrícolas diferentes (IZA, 2014) (Figura 1). El Zn es uno de los ocho microelementos que las plantas requieren para un normal crecimiento y reproducción. Cerca del 10% de todas las proteínas en los sistemas biológicos necesitan Zn para sus funciones y estructura, además el Zn interviene en numerosos procesos que tienen lugar en las plantas como son: fotosíntesis, síntesis proteica y de fitohormo-

nas (auxinas), integridad de las membranas celulares, vigor de la plántula, formación de azúcares y defensas contra factores de estrés abióticos, como sequías y enfermedades. Aún cuando a una planta se le suministren macronutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio y agua) en cantidades adecuadas, la deficiencia de Zn impide que las plantas alcancen su máximo potencial productivo. Por lo tanto, la deficiencia de Zn en los cultivos alimenticios reduce tanto el rendimiento como su valor nutricional.

Los bajos niveles de Zn en los cultivos también son responsables de la deficiencia de Zn en humanos (Hotz y Brown, 2004). El Zn es un micronutriente esencial para diversas funciones en el cuerpo humano. Es un elemento necesario para el correcto funcionamiento de más de 200 enzimas que están implicadas en la mayoría de las principales vías metabólicas del organismo humano y, su deficiencia afecta a una amplia gama de funciones bioquímicas, inmunológicas y clínicas. Como resultado, numerosas funciones corporales se ven afectadas por la deficiencia de Zn (Cakmak, 2008). Se estima que más del 30% de los más de seis mil millones de personas en el mundo sufren deficiencia en Zn (Blanco y Broadley, 2012).

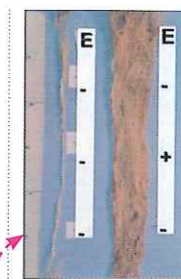
El problema de la malnutrición mineral puede ser abordado con el aumento de la biodisponibilidad de elementos minerales en cultivos comestibles. Las estrategias agronómicas para aumentar las concentraciones de elementos minerales en los tejidos comestibles se basan generalmente en la aplicación de fertilizantes y/o en la mejora de la solubilización y la movilización de elementos minerales presentes en el suelo. La biofortificación es un enfoque relativamente nuevo que tiene como objetivo mejorar el estado nutricional de la población, mejorando el contenido de micronutrientes de los alimentos de origen vegetal de primera necesidad, ya sea mediante los métodos convencionales o de ingeniería genética. La biofortificación agronómica a través de la fertilización (su aplicación en suelos, semillas y/o hojas) ayuda a aumentar el contenido de nutrientes de la planta, sin cambiar la composición genética de la misma (Storcksdieck y Hurrell, 2007).

## EL CASO DE LOS CEREALES

El trigo, el arroz y el maíz son los cereales más utilizados en la alimentación humana, aunque el consumo de otros como la espelta, el centeno o la avena está aumentando en los últimos años. La cebada se utiliza principalmente para la fabricación de cerveza y la elaboración de piensos para alimentación animal. De estos cereales, el maíz, el trigo y el arroz presentan una sensibilidad alta a la deficiencia en Zn, y la cebada presenta una sensibilidad media a dicha deficiencia. Actualmente, se estima que el 50% de los suelos agrícolas destinados al cultivo de cereales son potencialmente deficientes en Zn. Más de dos tercios partes del arroz cultivado en el mundo es producido en suelos inundados, que generalmente contienen muy baja cantidad de Zn disponible para las plantas. El trigo es normalmente cultivado en suelos alcalinos, calcáreos y con bajo contenido en materia orgánica en regiones semiáridas del mun-

do. Estos suelos y las condiciones climáticas, conllevan a que haya menos Zn disponible para su absorción y uso por parte de las plantas. Tradicionalmente las aplicaciones de Zn a los cultivos se han realizado utilizando fertilizantes enriquecidos con sulfato o óxido de zinc ( $ZnSO_4$  y  $ZnO$ ), observándose un efecto positivo de dichas aplicaciones en explotaciones de cereal cultivadas en suelos deficientes en este elemento. Sin embargo, su empleo puede tener ciertas restricciones. Una de ellas es que si la aplicación de sales inorgánicas de Zn se lleva a cabo en suelos calcáreos y/o con pH alto, su eficacia puede verse reducida drásticamente. Recientemente se están usando quelatos de Zn como una fuente muy efectiva especialmente en suelos calizos ya que estos compuestos tienen una elevada constante de estabilidad que ayuda a mantener el Zn en formas solubles y disponibles para las plantas.

Un aumento en el crecimiento de la raíz y una alta transferencia de Zn



**Figura 2.** Raíces de planta de trigo (cv Excalibur) cultivadas en un suelo deficiente en Zn (raíz de la izquierda) y con aplicación de Zn en la zona del subsuelo comprendida entre los 20 y 40 cm de profundidad (raíz de la derecha) (R Holloway www.zinc-crops.org).

del suelo a la planta es crucial para la biofortificación agronómica con Zn. Este micronutriente influye en el desarrollo de la raíz de las plantas. En la Figura 2 se aprecia la diferencia de crecimiento y desarrollo de unas raíces de trigo cultivado en un suelo deficiente en Zn con y sin aplicación de Zn. La aplicación de Zn aumenta el crecimiento de la raíz de trigo, la profundidad de las raíces y la densidad radical, por lo que incrementa el volumen de suelo explorado, y por tanto la capacidad de la planta para absorber agua y nutrientes. En la Figura 3 se puede observar el efecto de diferentes tratamientos de Zn aplicados, en el crecimiento aéreo de las plantas en un cultivo de trigo. En general, como se muestra en la Figura 4, el aumento de la concentración de Zn en la planta va acompañado de un incremento del rendimiento del cultivo, hasta que se alcanzan los niveles de toxicidad, donde se produce un descenso de este parámetro. La relación entre ambos factores en un



**¡VENID A LA FERIA Y SUMAOS AL GRAN CAMBIO!**

**50% descuento**

~~6€~~ **3€**

Presentando este cupón en taquilla. Un solo acceso. Una sola persona. Válido para jueves o viernes

**BioCultura**  
 Feria de productos ecológicos bio y consumo responsable

**Madrid-Ifema**  
 13-16 noviembre 2014

CELEBRAMOS 30 ANIVERSARIO

• Alimentos ecológicos • Cosmética eco-natural • Ropa y calzado orgánicos • Bioconstrucción • Terapias • Artesanías • MamaTerra, festival ecológico de la infancia

➔ 800 expositores, 80.000 visitantes, más de 300 actividades, degustaciones, sesiones de cosmética ecológica, venta directa...

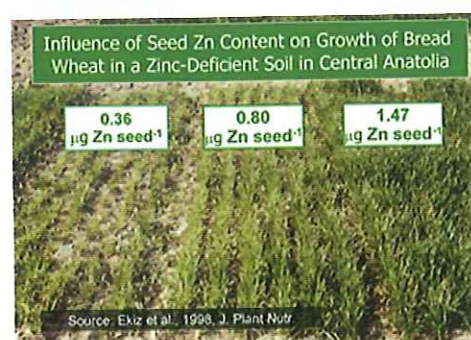
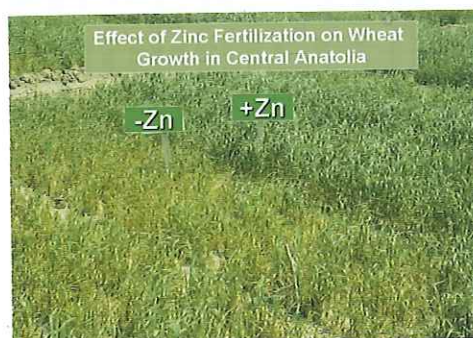
[www.biocultura.org](http://www.biocultura.org)



¡Síguenos en las redes y entérate de las novedades y promociones!



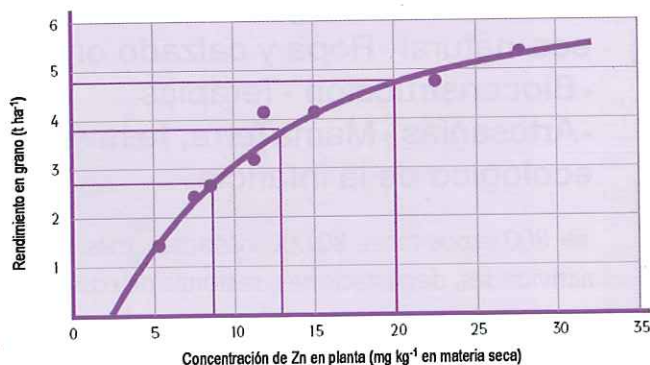




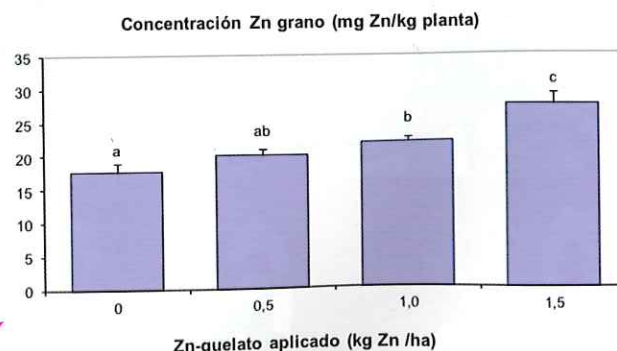
cultivo de trigo se puede observar en la **Figura 5** donde se aprecia como las concentraciones de Zn en planta por debajo de  $30 \text{ mg Zn kg}^{-1}$  muestran unos rendimientos inferiores al máximo. Según este estudio, la concentración crítica (concentración de Zn que se encuentra al 90-95% del rendimiento máximo) en trigo se considera de  $20 \text{ mg Zn kg}^{-1}$  en planta (Takkar y Randhawa, 1978). En el Dpto de Química y Análisis Agrícola de la ETSI Agrónomos, se han llevado a cabo diferentes experimentos para estudiar el efecto de la aplicación de diferentes dosis y fertilizantes en diversos cultivos de cereales. En plantas de maíz cultivadas en un suelo neutro se obtuvieron altos rendimientos al aplicar el quelato de origen sintético Zn-EDDHA a una dosis de  $20 \text{ mg Zn kg}^{-1}$ , alcanzándose también con

**Figura 3.** Aspecto de ensayos con cultivos de trigo a los que se aplicaron diferentes tratamientos de Zn en España (A y B) (elaboración propia) y en Turquía (C y D) (Ekiz et al., 1998; Cakmak et al., 1999) ( $0,36$ ;  $0,80$  y  $1,47 \text{ } \mu\text{g Zn semilla}^{-1}$ ).

este tratamiento altas concentraciones de Zn en la planta ( $58,7 \text{ mg Zn kg}^{-1}$ ). En diferentes estudios con aplicaciones de Zn en diferentes formas (sulfato de Zn o Zn aplicado como diferentes quelatos) a cultivos de cebada en un suelo calizo, se ha estudiado el efecto de la fertilización en la concentración de Zn en grano y en el rendimiento de la cosecha, obteniéndose que el Zn aplicado como Zn-DTPA-EDTA-HEDTA produce un aumento significativo de la concentración en grano del micronutriente a medida que aumenta la dosis de aplicación de quelato (**Figura 6**). En estos estudios, se observó que los rendimientos del cultivo también se incrementan con la dosis de Zn aplicada, obteniéndose incrementos del 20% respecto al control, con el tratamiento de mayor dosis de Zn ( $1,5 \text{ kg Zn /ha}$ ). ■



**Figura 5.** Relación entre la concentración de Zn en planta y el rendimiento en grano en el cultivo de trigo (Takkar y Randhawa, 1978)



**Figura 6.** Efecto de la aplicación de diferentes dosis de Zn-DTPA-EDTA-HEDTA en la concentración de Zn en el grano de cebada.



**Figura 4.** Efecto de los diferentes estados de un cultivo en el rendimiento y concentración de micronutriente en el mismo.

## Bibliografía

- Alvarez JM and Gonzalez D (2006) Zinc transformations in neutral soil and zinc efficiency in maize fertilization. *J Agric Food Chem.* 13: 9488-95.
- Cakmak I, Kalayci M, Ekiz H, et al. (1999). Zinc deficiency as a practical problem in plant and human nutrition in Turkey: a NATO-science for stability project. *Field Crops Research*, 60: 175-188.
- Cakmak I (2008) Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? *Plant and Soil* 302, 1-17.
- Ekiz H; Bagci SA; Kiral AS; Eker S; Gültekin I; Aklan A and Cakmak I (1998). Effects of zinc fertilization and irrigation on grain yield and zinc concentration of various cereals grown in zinc-deficient calcareous soils. *J. Pl. Nutr.*, 21: 2245-56
- Hotz C and Brown KH eds (2004) Assessment of the risk of zinc deficiency in populations and options for its control. International Zinc Nutrition Consultative Group. Technical Document. Food and Nutrition Bulletin, 2004; 25, no1 United Nations University Press.
- IZA (2014) Zinc in fertilizers-essential for crops Disponible on line [www.zinc-crops.org](http://www.zinc-crops.org)
- Storksdielck D and Hurrell R (2007). The impact of trace elements from plants on human nutrition: a case study for biofortification. In: 9th International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements (ICOBTE), Beijing, China.
- Takkar PN and Randhawa NS (1978) Micronutrients in Indian Agriculture, *Fertiliser News (Delhi)* 23: 3-26.
- White, P.J. and Broadley, M.R. (2005). Biofortifying crops with essential mineral elements. *Trends in Plant Science*, 10: 586-593.